

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-098559

(43)Date of publication of application : 03.04.2003

(51)Int.Cl.

G02F 1/295
G02F 1/313

(21)Application number : 2001-293761

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 26.09.2001

(72)Inventor : NISHIZAWA MOTOTOSHI
ISHII MASATOSHI
YAMAGISHI YASUO

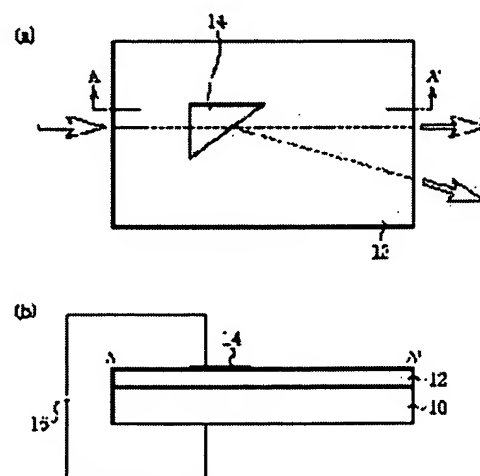
(54) LIGHT DEFLECTION ELEMENT AND OPTICAL SWITCH

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light deflection element capable of maintaining the deflection state of the time when a driving voltage is applied even after the driving voltage is switched off, and to provide an optical switch comprising such a light deflection element.

SOLUTION: In the light deflection element which comprises an optical waveguide 12 made of a dielectric material having an electro-optic effect, and a pair of electrodes 10, 14 arranged to hold the optical waveguide 12 in-between, and which controls the traveling direction of signal light propagating through the optical waveguide 12 by varying the refractive index of the dielectric material by applying an electric field across a pair of the electrodes 10, 14, the dielectric material has a 1st refractive index in the initial state, but is changed in the refractive index so as to have a 2nd refractive index by applying an electric field of a 1st polarity across the electrodes, and the refractive index after the electric field has been removed is held as a 3rd refractive index; and the dielectric material having the 3rd refractive index is changed in the refractive index by applying an electric field of a 2nd polarity different from the 1st polarity, and the refractive index after the electric field has been removed is changed into the 1st refractive index.

本発明の第1実施形態による光偏折素子の構造を示す
平面図及び概略図



10—電極
12—光学波導体
14—電極
15—基板

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of
rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-98559

(P2003-98559A)

(43) 公開日 平成15年4月3日 (2003.4.3)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース(参考)
G 0 2 F 1/295		G 0 2 F 1/295	2 K 0 0 2
1/313		1/313	

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-293761(P2001-293761)

(22) 出願日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 西沢 元亨

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 石井 雅俊

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100087479

弁理士 北野 好人 (外1名)

最終頁に続く

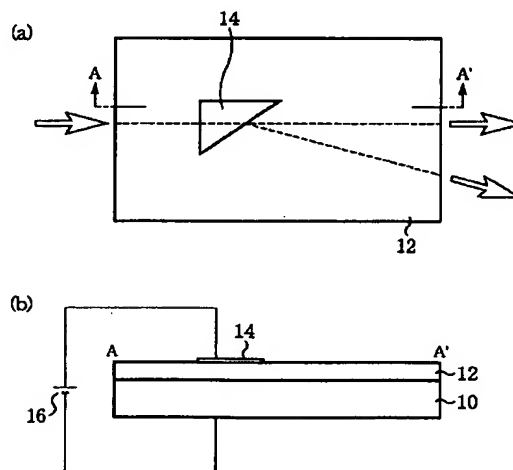
(54) 【発明の名称】 光偏向素子及び光スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 駆動電圧を切った後も駆動電圧印加時の偏向状態を維持しうる光偏向素子並びにこのような光偏向素子を有する光スイッチを提供する。

【解決手段】 電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路12と、光導波路12を挟むように設けられた一対の電極10、14とを有し、一対の電極10、14間に電界を印加して誘電体材料の屈折率を变化することにより光導波路12内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子において、誘電体材料は、初期状態において第1の屈折率を有し、第1の極性の電界を印加することにより屈折率が変化して第2の屈折率となり、電界を取り除いた後の屈折率が第3の屈折率として保持され、第3の屈折率を有する誘電体材料は、第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより屈折率が変化し、電界を取り除いた後の屈折率が第1の屈折率となる。

本発明の第1実施形態による光偏向素子の構造を示す
平面図及び概略断面図



10…基板
12…スラブ導波路
14…電極
16…電源

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、

前記誘電体材料は、初期状態において第1の屈折率を有し、第1の極性の電界を印加することにより屈折率が変化して第2の屈折率となり、前記電界を取り除いた後の

屈折率が第3の屈折率として保持され、前記第3の屈折率を有する前記誘電体材料は、前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより屈折率が変化し、前記電界を取り除いた後の屈折率が前記第1の屈折率となることを特徴とする光偏向素子。

【請求項2】 電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、

初期状態において第1の偏向角度を有し、第1の極性の電界を印加することにより第2の偏向角度となり、前記電界を取り除いた後の偏向角度が第3の偏向角度として保持され、

前記第3の偏向角度を有する状態で前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより偏向角度が変化し、前記電界を取り除いた後の偏向角度が前記第1の偏向角度となることを特徴とする光偏向素子。

【請求項3】 請求項2又は3記載の光偏向素子において、

前記誘電体材料は、 $(Pb_{1-w}M_x)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_zO_3$ （但し、 $0 \leq w \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、Mは、ランタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくはストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す）であることを特徴とする光偏向素子。

【請求項4】 請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光偏向素子において、

前記電極はくさび形状に形成されており、前記光導波路に入射した光を電気光学プリズム効果によって偏向することを特徴とする光偏向素子。

【請求項5】 請求項4記載の光偏向素子において、前記電極はn個（nは2以上の整数）の個別電極に分割されており、前記光導波路に、前記信号光の偏向角度をn+1通りに振り分けるプリズム群を形成することを特徴とする光偏向素子。

【請求項6】 $(Pb_{1-w}M_x)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_zO_3$ （但し、 $0 \leq w \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、Mは、ラ

ンタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくはストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す）よりなるスラブ導波路と、

前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路に信号光を入力する入力側導波路と、

前記スラブ導波路を挟むように設けられた対向する電極を有し、前記スラブ導波路に電界を印加して屈折率を変化することにより前記スラブ導波路内を伝搬する前記信号光の進行方向を制御する光偏向素子と、

前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路から信号光を出力する複数の出力側導波路とを少なくとも有し、

前記入力側導波路から入力された信号光を任意の前記出力側導波路に出力することを特徴とする光スイッチ。

【請求項7】 請求項6記載の光スイッチにおいて、前記光偏向素子は、頂角が互いに逆方向を向くように配置された三角形形状の前記電極を少なくとも2つ有し、前記スラブ導波路内にプリズムペアを形成することを特徴とする光スイッチ。

【請求項8】 請求項6又は7記載の光スイッチにおいて、

前記電極は、三角形形状の個別電極を複数有し、電圧を印加する前記個別電極の数によって前記出力側導波路を選択することを特徴とする光スイッチ。

【請求項9】 請求項8記載の光スイッチにおいて、前記電極は、前記出力側導波路の数をnとして、n-1個の前記個別電極に分割されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項10】 請求項6乃至9のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、

前記光偏向素子は、前記入力側導波路側に設けられた第1の光偏向素子と、前記出力側導波路側に設けられた第2の光偏向素子とを含むことを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光偏向素子及び光スイッチに係り、特に、駆動電圧を切った後も駆動電圧印加時の偏向状態を維持しうる光偏向素子並びにこのような光偏向素子を有する光スイッチに関する。

【0002】

【従来の技術】光は高速なデータ送信が可能ことから、基幹通信システムのような長距離電送では光通信が主体となっている。近年、光通信の伝送帯域は増加の一端をたどり、波長多重化（WDM：Wavelength Division Multiplex）技術の進展と相俟って高速且つ大容量化が進んでいる。光通信システムにおいてWDMネットワークを1対1の接続から複数地点間への接続に広げるためには、光信号の伝達先を切り換えるための光偏向素子が必要である。

【0003】従来の光偏向素子としては、機械式のマイ

クロミラーを用いたものが知られている。また、より高集積、高速、低損失を実現するために、強誘電体の電気光学効果による屈折率の変化を利用した光偏向素子も開発されている。WDMネットワークを構築するうえでは後者の光偏向素子がきわめて有望である。なお、電気光学効果とは、電界の印加により物質の屈折率が変化する現象をいう。

【0004】強誘電体の電気光学効果による屈折率の変化を利用した光偏向素子は、例えば、Q.Chen等により或いは特開平9-5797号公報において提案されている。

【0005】Q.Chen等により提案されている光偏向素子は、単結晶 LiNbO_3 、ウェーハに Ti 拡散型導波路やプロトン交換型光導波路を形成したブリズム型ドメイン反転光偏向素子及びブリズム型電極光偏向素子である（例えば、Q.Chen et al., J.Lightwave Tech. Vol.12 (1994) 1401を参照）。しかしながら、これら光偏向素子では LiNbO_3 ウェーハの厚さである0.5mm程度の電極間隔が必要となるため、駆動電圧が非常に高く、 $\pm 600\text{V}$ の駆動電圧を印加した場合でもわずかに0.5度程度の偏向角度しか得ることができなかった。

【0006】一方、特開平9-5797号公報に記載の光偏向素子は、 Nb ドーパ SrTiO_3 導電性単結晶基板の(100)面上に、エビタキシャル PLZT 膜からなる厚さ600nmの薄膜光導波路が形成されたものである。特開平9-5797号公報に記載の光偏向素子では、駆動電圧を $-12\text{V} \sim +12\text{V}$ の範囲で掃引することにより、10.8度の偏向角度を達成している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、 LiNbO_3 や PLZT 等によって光導波路を構成する上記従来の光偏向素子では、印加電圧に比例した量だけ光導波路の屈折率が変化するため、光の偏向状態を維持するためには電圧を印加し続ける必要があった。また、駆動電圧印加時の偏向状態は記憶できないため、停電などで一度電源の供給が停止してしまった場合には、再度、各偏向素子の偏向状態を設定する必要があった。

【0008】本発明の目的は、駆動電圧を切った後も駆動電圧印加時の偏向状態を維持しうる光偏向素子並びにこのような光偏向素子を有する光スイッチを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的は、電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、前記誘電体材料は、初期状態において第1の屈折率を有し、第1の極性の電界を印加することにより屈折率が変化して

第2の屈折率となり、前記電界を取り除いた後の屈折率が第3の屈折率として保持され、前記第3の屈折率を有する前記誘電体材料は、前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより屈折率が変化し、前記電界を取り除いた後の屈折率が前記第1の屈折率となることを特徴とする光偏向素子によって達成される。

【0010】また、上記目的は、電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、初期状態において第1の偏向角度を有し、第1の極性の電界を印加することにより第2の偏向角度となり、前記電界を取り除いた後の偏向角度が第3の偏向角度として保持され、前記第3の偏向角度を有する状態で前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより偏向角度が変化し、前記電界を取り除いた後の偏向角度が前記第1の偏向角度となることを特徴とする光偏向素子によっても達成される。

【0011】また、上記目的は、 $(\text{Pb}_{1-x}\text{M}_x)(\text{Zr}_{1-x-y}\text{Ti}_x\text{Sn}_y)_2\text{O}_7$ （但し、 $0 \leq x \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、 M は、ランタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくはストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す）よりなるスラブ導波路と、前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路に信号光を入力する入力側導波路と、前記スラブ導波路を挟むように設けられた対向する電極を有し、前記スラブ導波路に電界を印加して屈折率を変化することにより前記スラブ導波路内を伝搬する前記信号光の進行方向を制御する光偏向素子と、前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路から信号光を出力する複数の出力側導波路とを少なくとも有し、前記入力側導波路から入力された信号光を任意の前記出力側導波路に出力することを特徴とする光スイッチによっても達成される。

【0012】

【発明の実施の形態】〔第1実施形態〕本発明の第1実施形態による光偏向素子について図1乃至図3を用いて説明する。

【0013】図1は本実施形態による光偏向素子の構造を示す平面図及び概略断面図、図2は本実施形態による光偏向素子及び従来の光偏向素子における屈折率変化特性を示すグラフ、図3は本実施形態による光偏向素子の製造方法を示す工程断面図である。

【0014】はじめに、本実施形態による光偏向素子の構造について図1を用いて説明する。なお、図1(a)は本実施形態による光偏向素子の構造を示す平面図、図1(b)は図1(a)のA-A'線断面に沿った概略断面図である。

【0015】NbドープSrTiO₃よりなる基板10上には、(Pb_{1-x}M_x)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_zO₃膜(以下、PMZTS膜ともいう)よりなるスラブ導波路12が形成されている。スラブ導波路12上には、ITOよりなる三角形形状の電極14が形成されている。基板10と電極14との間には電源16が接続されており、電極14が形成された領域のスラブ導波路12に所定の駆動電圧を印加できるようになっている。

【0016】このように、本実施形態による光偏向素子は、スラブ導波路12が、PMZTS膜によって構成されていることに主たる特徴がある。以下、PMZTS膜の物性について、従来の光偏向素子のスラブ導波路12に用いられている材料の物性との比較を交えて説明する。

【0017】従来の光偏向素子では、光導波路としてBaTiO₃、PbTiO₃、Pb_{1-x}La_x(Zr_yTi_{1-y})_{1-x-y}O₃などの電気光学効果を有する強誘電体薄膜が用いられていた。これら強誘電体膜は、図2

(a)に示すような屈折率変化特性を有している。すなわち、これら強誘電体膜は、初期状態で自発歪みを有しており、印加電圧が0Vの状態でも所定の屈折率変化量を有している。印加電圧を0Vから徐々に増加すると、印加電圧の変化量に比例して屈折率も徐々に増加する。この後、印加電圧を徐々に減少すると、印加電圧の変化量に比例して屈折率変化量も徐々に減少する。印加電圧を0Vに戻すと、屈折率変化量は初期状態の値に戻る。強誘電体膜に逆方向の電界を印加した場合も、同様の变化を示す。

【0018】一方、本実施形態による光偏向素子では、光導波路としてPMZTS膜よりなる強誘電体膜を用いる。本実施形態による光偏向素子に用いるPMZTS膜は、図2(b)に示すような屈折率変化特性を有している。PMZTS膜は、組成比を適宜制御することにより、初期状態では自発分極を持たない反強誘電体となる。この場合、印加電圧を0Vから徐々に増加すると、PMZTS膜は強誘電体となり、初期状態と比較して屈折率が変化する。しかしながら、この後に印加電圧を徐々に減少しても屈折率の値は電圧増加時と同じ道筋はたどらず、電圧を0Vに戻しても反強誘電体に戻ることはない。この結果、印加電圧が0Vにおいても、所定の屈折率変化量が残存することとなる。このように記憶された屈折率変化量は、PMZTS膜に小さな逆バイアスを印加することにより、初期状態に戻すことができる。すなわち、結晶が逆方向に歪まない程度の逆バイアスを印加することにより、屈折率は初期状態の屈折率に戻る。この後、印加電圧を0Vに戻しても、屈折率は初期状態の屈折率のまま維持される。なお、PMZTSに逆方向の電界を印加した場合も、同様の变化を示す。

【0019】本実施形態による光偏向素子として好適なPMZTS膜は、(Pb_{1-x}M_x)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_zO₃膜として、組成w、x、y、zが、それぞれ、

0 ≤ w ≤ 0.5、0 < x ≤ 0.5、0 < y ≤ 0.5、0.8 ≤ z ≤ 1.2であり、Mが、ランタン(La)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、バリウム(Ba)又はストロンチウム(Sr)のいずれか1種又は2種以上の元素により構成されるものである。係る組成及び元素を適用することにより、上述の屈折率変化特性を有するPMZTS膜を得ることができる。

【0020】このようなPMZTS膜によりスラブ導波路12を構成することにより、電極14下部のPMZTS膜の屈折率を、電極14に印加する駆動電圧によって適宜変化することができる。したがって、電極14下のスラブ導波路12を通る信号光を、電極14下部のPMZTS膜によるプリズム効果により、この領域の屈折率変化量に応じた偏向量によって偏向することができる。また、電極14下のPMZTS膜の屈折率は、印加電圧を切ってもほとんど変化しないため、たとえ停電などによって電圧印加が途絶えても直前の偏向状態のまま維持することができる。換言すれば、電極14に駆動電圧を常に印加しておく必要はなく、偏向状態を維持した状態で電源の供給を停止することもできるので、消費電力を低減することが可能である。

【0021】次に、本実施形態による光偏向素子の製造方法について図3を用いて説明する。

【0022】まず、例えば抵抗率が5〜500mΩ・cm程度のNbをドープしたSrTiO₃よりなる導電性単結晶基板10の(100)面上に、例えばRFマグネトロンスパッタ法により、例えば(Pb_{0.99}Nb_{0.02})(Zr_{0.562}Ti_{0.063}Sn_{0.375})_{0.98}O₃の組成を有するPMZTS膜をエピタキシャル成長し、基板10上にPMZTS膜よりなるスラブ導波路12を形成する。例えば、5wt%のPbを過剰に添加したPMZTSセラミックターゲットを用い、基板温度を680℃、ガス圧を30mTorr、ガス流量比をAr/O₂=80/20として、5時間スパッタリングを行い、膜厚600nmのPMZTS膜を形成する。なお、PMZTS膜は、電子ビーム蒸着法、MOCVD法、ゾルゲル法、MOD法などの他の成膜方法によって形成することもできる。

【0023】次いで、スラブ導波路12上に、例えばスパッタ法により、例えば抵抗率が1mΩ・cm、膜厚が100nmのITO膜18を形成する。

【0024】次いで、リソグラフィー及びエッチングにより、ITO膜18をパターニングし、ITO膜よりなり三角形形状を有する電極14を形成する。

【0025】こうして、図1に示す本実施形態による光偏向素子を形成することができる。

【0026】上述の製造方法により、(Pb_{0.99}Nb_{0.02})(Zr_{0.562}Ti_{0.063}Sn_{0.375})_{0.98}O₃の組成を有するPMZTS膜を用い、電極14の幅が2mm、高さが10mmの光偏向素子を製造し、基板10と電極

14との間に10Vの駆動電圧を印加したところ、光の偏向角度 θ は約3.7度となり、実用的な印加電圧で実用的な偏向角度を得ることができた。また、印加電圧を10Vから0Vに戻した場合における偏向角度は約3.5度であり、電界を取り除いても駆動電圧印加時の偏向角度とほぼ等しい偏向角度を維持できることが判った。また、この素子に約-2.0Vの電圧を印加することにより偏向角度は約0度となり、電界を取り除いた後もこの偏向角度は変化しなかった。

【0027】このように、本実施形態によれば、所定の組成比を有するPMZTS膜を用いて光導波路を構成するので、停電などによって電圧印加が途絶えても直前の偏向状態を維持しうる屈折率記憶型の光偏向素子を構成することができる。

【0028】〔第2実施形態〕本発明の第2実施形態による光スイッチについて図4及び図5を用いて説明する。

【0029】図4は本実施形態による光スイッチの構造を示す平面図及び概略断面図、図5は本実施形態による光スイッチの製造方法を示す工程断面図である。

【0030】はじめに、本実施形態による光スイッチの構造について図4を用いて説明する。なお、図4(a)は本実施形態による光スイッチの構造を示す平面図、図4(b)は図4(a)のA-A'線断面に沿った概略断面図である。

【0031】NbドープSrTiO₃よりなる基板20上には、PMZTS膜よりなるスラブ導波路22が形成されている。スラブ導波路22に隣接する領域の基板20上には、石英よりなるレンズ24が形成されている。レンズ24は、スラブ導波路22の対向する端部にそれぞれ4つつつ設けられている。スラブ導波路22の一方の端部(図面では左側)に隣接するレンズ24には、信号光を入力するための入力側導波路26がそれぞれ接続されている。スラブ導波路22の他方の端部(図面では右側)に隣接するレンズ24には、スラブ導波路22内を伝搬した信号光を出力するための出力側導波路28が設けられている。

【0032】スラブ導波路22上には、ITO膜よりなる三角形形状の電極30が形成されている。電極30は、互いに電氣的に絶縁された電極30a、30b、30cによって構成されており、電極30a、30b、30cは、信号光の伝搬方向の高さがそれぞれほぼ等しくなっている。基板20と電極30a、30b、30cとの間には電源32が接続されており、電極30a、30b、30cが形成された領域のスラブ導波路22に、それぞれ独立して所定の駆動電圧を印加できるようになっている。

【0033】このように、本実施形態による光スイッチは、4チャンネルの入出力を有する光スイッチにおいて、第1実施形態による光偏向素子を用いるとともに、

第1実施形態による光偏向素子の電極14に相当する電極30を3分割していることに主たる特徴がある。このようにして光スイッチを構成することにより、ある入力側導波路26に入力された信号光を任意の出力側導波路28に出力することができる。また、第1実施形態による光偏向素子を用いることにより、停電などによって電圧印加が途絶えても、直前の接続状態のまま維持することができる。

【0034】次に、本実施形態による光スイッチの動作について詳述する。

【0035】入力側導波路26に入力された信号光は、レンズ24によって略平行光に成形され、スラブ導波路22に入射する。このとき、電極30が形成された領域のPMZTS膜が他の領域の屈折率と等しい屈折率を有する場合、スラブ導波路22内を導波する信号光は偏向せずに直進し、対向するレンズ24に達する。レンズ24に入射した信号光は、レンズ24によって出力側導波路26の入力端に集光され、出力側導波路26から出力される。

【0036】電極30が形成された領域のPMZTS膜が他の領域の屈折率と異なる場合、プリズム効果により、スラブ導波路22内を導波する信号光は偏向する。いずれの出力側導波路28から出力するかは、電極30への電圧印加方法により選択することができる。

【0037】第1実施形態による光偏向素子のようなプリズム型光偏向素子では、信号光の偏向角度は、信号光の伝搬方向のプリズムの高さに比例する。ここで、プリズムの高さは、電極30a、30b、30cの高さに相当する。したがって、電極30a、30b、30cへの電圧印加方法によって、信号光の偏向角度を任意に制御することができる。例えば、電極30の幅を2mm、高さを10mmとし、高さ方向に3分割して電極30a、30b、30cを形成すると、1つの電極に電圧を印加する毎に1.23度の偏向角度を得ることができる。例えば、電極30aのみに10Vの電圧を印加した場合には約1.23度の偏向角度を、電極30a、30bに10Vの電圧をそれぞれ印加した場合には約2.46度の偏向角度を、電極30a、30b、30cに10Vの電圧をそれぞれ印加した場合には約3.7度の偏向角度を得ることができる。つまり、分割した電極のうちn個の電極に電圧を印加したとすると、1.23×n度の偏向角度を得ることができ、ビーム偏向角度をデジタル的に制御することが可能となる。

【0038】この偏向角度に応じて出力側のレンズ24及び出力側導波路を設けることにより、ある入力側導波路26に入力された信号光を任意の出力側導波路28に出力することができる。

【0039】本実施形態による光スイッチに適用する光偏向素子は、第1実施形態に示すように屈折率記憶型の光偏向素子である。したがって、電極30に印加する電

圧を遮断した場合であっても、信号光の偏向方向をそのまま維持することができる。また、電極30が形成された領域のPMZTS膜の屈折率は、例えば電極30に-2Vの電圧を印加することにより初期値に戻すことができる。

【0040】次に、本実施形態による光スイッチの製造方法について図5を用いて説明する。

【0041】まず、例えば抵抗率が5~500mΩ・cm程度のNbをドーブしたSrTiO₃よりなる導電性単結晶基板20の(100)面上に、例えばプラズマCVD法により、膜厚0.6μmの石英膜34を形成する(図5(a))。

【0042】次いで、リソグラフィー及びドライエッチングにより、石英膜34をパターニングし、石英膜32よりなるレンズ24を形成する(図5(b))。

【0043】次いで、レンズ24が形成された基板20上に、例えばRFマグネトロンスパッタ法により、例えば(Pb_{0.99}Nb_{0.02})(Zr_{0.99}Ti_{0.01}Sn_{0.01})_{0.99}O₃の組成を有するPMZTS膜36をエピタキシャル成長する(図5(c))。

【0044】次いで、リソグラフィー及びイオンミリングにより、PMZTS膜34をパターニングし、PMZTS膜36よりなるスラブ導波路22を形成する(図5(d))。

【0045】次いで、スラブ導波路22上に、例えばスパッタ法により、例えば抵抗率が1mΩ・cm、膜厚が100nmのITO膜を形成する。

【0046】次いで、リソグラフィー及びエッチングにより、ITO膜をパターニングし、ITO膜よりなる電極30a、30b、30cを形成する(図5(e))。

【0047】こうして、図4に示す本実施形態による光偏向素子を形成することができる。

【0048】このように、本実施形態によれば、第1実施形態による光偏向素子を用いて光スイッチを構成するので、停電などによって電圧印加が途絶えても、直前の接続状態のまま維持しうる光スイッチを構成することができる。

【0049】なお、上記実施形態では、4チャンネルの入出力を有する光スイッチを構成したが、チャンネル数は適宜設定することができる。この場合、電極30を、少なくとも(チャンネル数-1)個に分割するようにすればよい。

【0050】[第3実施形態] 本発明の第3実施形態による光スイッチについて図6を用いて説明する。なお、図4及び図5に示す第2実施形態による光スイッチと同一の構成要素には同一の符号を付し説明を省略し或いは簡略にする。

【0051】図6は本実施形態による光スイッチの構造を示す平面図である。

【0052】本実施形態による光スイッチは、スラブ導

波路22上に設けられた電極の配置が異なるほかは、第2実施形態による光スイッチと同様である。すなわち、図6に示すように、本実施形態による光スイッチでは、斜辺が対向するように配置された直角三角形形状の2つの電極30A及び電極30B(以下、電極ペア40ともいう)を基本単位として、スラブ導波路22の入力側導波路26の近傍及び出力側導波路28の近傍のそれぞれに2つずつ電極ペア40が配置されている。

【0053】電極ペア40は、スラブ導波路22内にいわゆるプリズムペアを形成するためのものであり、電極30A及び電極30Bには大きさがほぼ等しい逆極性の電圧がそれぞれ印加される。このようにしてプリズムペアを形成することにより、電極30A又は電極30Bによって1つのプリズムを形成する場合と比較して、より大きい偏向角度を得ることができる。信号光の伝搬方向に2つの電極ペア40を配置しているのも、より大きい偏向角度を得るためである。

【0054】出力側導波路28近傍に設けられた2つの電極ペア40は、入力側導波路26近傍のプリズムペアにより偏向を受けた信号光の伝搬方向を直進方向に戻すためのものである。出力側導波路28近傍にプリズムペアを設けることにより、出力側導波路28に伝搬される信号光の伝搬光率を向上することができる。

【0055】電極30A、30Bは、信号光の伝搬方向の高さがほぼ等しくなるように、それぞれ3分割されている。電極30A及び電極30Bをそれぞれ3分割しているのは、第2実施形態による光スイッチにおいて電極30を電極30a、30b、30c2分割しているのと同様の理由である。このようにして電極30A、30Bを構成することにより、分割した電極のうちのいくつに駆動電圧を印加するかによって、入力側導波路26に入力された信号光を任意の出力側導波路28に出力することができる。

【0056】このように、本実施形態によれば、第1実施形態による光偏向素子を用いて光スイッチを構成するので、停電などによって電圧印加が途絶えても、直前の接続状態のまま維持しうる光スイッチを構成することができる。

【0057】なお、上記実施形態では、スラブ導波路22の入力側導波路26の近傍及び出力側導波路28の近傍のそれぞれに2つずつの電極ペアを設けたが、電極ペアは1つだけ設けてもよいし、3つ以上設けてもよい。また、出力側導波路28の近傍には必ずしも電極ペアを設ける必要はない。電極ペアの数やその配置は、必要とされる偏向角度や伝搬光率等に応じて適宜選択することができる。

【0058】また、上記実施形態では、4チャンネルの入出力を有する光スイッチを構成したが、チャンネル数は適宜設定することができる。この場合、電極30A、30Bを、少なくとも(チャンネル数-1)個に分割す

るようにすればよい。

【0059】〔変形実施形態〕本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

【0060】例えば、上記第2及び第3実施形態では、電極30、30A、30Bを分割する際、信号光の伝搬方向の高さがほぼ等しくなるように分割するようにしているが、必ずしも分割した電極の高さを等しくする必要はない。電極の分割方法は、電極の位置から見た各出力側導波路28への角度に応じて適宜設定することが望ましい。

【0061】また、上記第2及び第3実施形態では、第1実施形態による光偏向素子を用いて光スイッチを構成する例を示したが、第1実施形態による光偏向素子を用いて他の装置を構成してもよい。例えば、第1実施形態による光偏向素子において、所定の情報に基づいて出力信号光をオンオフするように構成することにより、或いは、入力信号光の波長を変化するように構成することにより、光変調素子を構成することができる。

【0062】また、上記第1乃至第3実施形態では、スラブ導波路の上面のみに電極を形成し基板を下部電極として用いたが、基板とスラブ導波路との間に下部電極を形成してもよい。この場合、上部電極及び下部電極の双方を三角形形状に成形するようにしてもよいし、一方のみを三角形形状にするようにしてもよい。

【0063】以上詳述したように、本発明による半導体装置及びその製造方法の特徴をまとめると以下の通りとなる。

【0064】（付記1）電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の波長を制御する光変調素子であって、前記誘電体材料は、初期状態において第1の屈折率を有し、第1の極性の電界を印加することにより屈折率が変化して第2の屈折率となり、前記電界を取り除いた後の屈折率が第3の屈折率として保持され、前記第3の屈折率を有する前記誘電体材料は、前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより屈折率が変化し、前記電界を取り除いた後の屈折率が前記第1の屈折率となることを特徴とする光変調素子。

【0065】（付記2）電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、前記誘電体材料は、初期状態において第1の屈折率を有し、第1の極性の電界を印加することにより屈折率が変化して第2の屈折率となり、前記電界を取り除いた後の屈折率が第3の屈折率と

して保持され、前記第3の屈折率を有する前記誘電体材料は、前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより屈折率が変化し、前記電界を取り除いた後の屈折率が前記第1の屈折率となることを特徴とする光偏向素子。

【0066】（付記3）電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた対向する電極とを有し、前記対向する電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより、前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子であって、初期状態において第1の偏向角度を有し、第1の極性の電界を印加することにより第2の偏向角度となり、前記電界を取り除いた後の偏向角度が第3の偏向角度として保持され、前記第3の偏向角度を有する状態で前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加することにより偏向角度が変化し、前記電界を取り除いた後の偏向角度が前記第1の偏向角度となることを特徴とする光偏向素子。

【0067】（付記4）付記2又は3記載の光偏向素子において、前記誘電体材料は、 $(Pb_{1-x-y}M_z)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_2O_3$ （但し、 $0 \leq w \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、Mは、ランタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくはストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す）であることを特徴とする光偏向素子。

【0068】（付記5）基板上に形成され、 $(Pb_{1-x-y}M_z)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_2O_3$ （但し、 $0 \leq w \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、Mは、ランタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくはストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す）よりなるスラブ導波路と、前記スラブ導波路上に形成された電極とを有し、前記電極により前記スラブ導波路に電界を印加して前記スラブ導波路の屈折率を変化することにより、前記スラブ導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御することを特徴とする光偏向素子。

【0069】（付記6）付記2乃至5のいずれか1項に記載の光偏向素子において、前記電極はくさび形状に形成されており、前記光導波路に入射した光を電気光学プリズム効果によって偏向することを特徴とする光偏向素子。

【0070】（付記7）付記2乃至6のいずれか1項に記載の光偏向素子において、前記電極はn個（nは2以上の整数）の個別電極に分割されており、前記光導波路に、前記信号光の偏向角度をn+1通りに振り分けるプリズム群を形成することを特徴とする光偏向素子。

【0071】（付記8） $(Pb_{1-x-y}M_z)(Zr_{1-x-y}Ti_xSn_y)_2O_3$ （但し、 $0 \leq w \leq 0.5$ 、 $0 < x \leq 0.5$ 、 $0 < y \leq 0.5$ 、 $0.8 \leq z \leq 1.2$ であり、Mは、ランタン、ニオブ、タンタル、バリウム若しくは

ストロンチウムのいずれか1種又は2種以上の元素を示す)よりなるスラブ導波路と、前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路に信号光を入力する入力側導波路と、前記スラブ導波路を挟むように設けられた対向する電極を有し、前記スラブ導波路の屈折率を変化することにより前記スラブ導波路内を伝搬する前記信号光の進行方向を制御する光偏向素子と、前記スラブ導波路に光学的に結合され、前記スラブ導波路から信号光を出力する複数の出力側導波路とを有し、前記入力側導波路から入力された信号光を任意の前記出力側導波路に出力することを特徴とする光スイッチ。

【0072】(付記9) 付記8記載の光スイッチにおいて、前記光偏向素子は、頂角が互いに逆方向を向くように配置された三角形形状の電極を少なくとも2つ有し、前記スラブ導波路内にプリズムベアを形成することを特徴とする光スイッチ。

【0073】(付記10) 付記8又は9記載の光スイッチにおいて、前記電極は、三角形形状の個別電極を複数有し、電圧を印加する前記個別電極の数によって前記出力側導波路を選択することを特徴とする光スイッチ。

【0074】(付記11) 付記10記載の光スイッチにおいて、前記電極は、前記出力側導波路の数を n として、 $n-1$ 個の前記個別電極に分割されていることを特徴とする光スイッチ。

【0075】(付記12) 付記8乃至11のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、前記光偏向素子は、前記入力側導波路側に設けられた第1の光偏向素子と、前記出力側導波路側に設けられた第2の光偏向素子とを含むことを特徴とする光スイッチ。

【0076】(付記13) 付記8乃至12のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、前記入力側導波路と前記スラブ導波路との間に、前記入力側導波路から入力される前記信号光を略平行光に成形して前記スラブ導波路に入射するレンズを更に有することを特徴とする光スイッチ。

【0077】(付記14) 付記5乃至9のいずれか1項に記載の光スイッチにおいて、前記前記スラブ導波路と前記出力側導波路との間に、前記スラブ導波路から出力される前記信号光を前記出力側導波路に集光するレンズを更に有することを特徴とする光スイッチ。

【0078】(付記15) 電気光学効果を有する誘電体材料よりなる光導波路と、前記光導波路を挟むように設けられた一対の電極とを有し、前記一対の電極間に電界を印加して前記誘電体材料の屈折率を変化することにより前記光導波路内を伝搬する信号光の進行方向を制御する光偏向素子の偏向方向制御方法であって、初期状態において第1の屈折率を有する前記誘電体材料に、第1の極性の電界を印加した後に前記電界を取り除き、前記誘電体材料の屈折率を前記第1の屈折率とは異なる第2の屈折率とすることにより、前記信号光の偏向方向を

化することを特徴とする光偏向素子の偏向方向制御方法。

【0079】(付記16) 付記15記載の光偏向素子の偏向方向制御方法において、前記第2の屈折率を有する前記誘電体材料に、前記第1の極性とは異なる第2の極性の電界を印加した後に前記電界を取り除き、前記誘電体材料の屈折率を前記第1の屈折率とすることにより、前記信号光の偏向方向を変化することを特徴とする光偏向素子の偏向方向制御方法。

【0080】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、所定の組成比を有するPMZTS膜を用いて光導波路を構成するので、停電などによって電圧印加が途絶えても直前の偏向状態を維持しうる屈折率記憶型の光偏向素子を構成することができる。また、このような光偏向素子を用いて光スイッチを構成するので、停電などによって電圧印加が途絶えても、直前の接続状態のまま維持しうる光スイッチを構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による光偏向素子の構造を示す平面図及び概略断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態による光偏向素子及び従来の光偏向素子における屈折率変化特性を示すグラフである。

【図3】本発明の第1実施形態による光偏向素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図4】本発明の第2実施形態による光スイッチの構造を示す平面図及び概略断面図である。

【図5】本発明の第2実施形態による光スイッチの製造方法を示す工程断面図である。

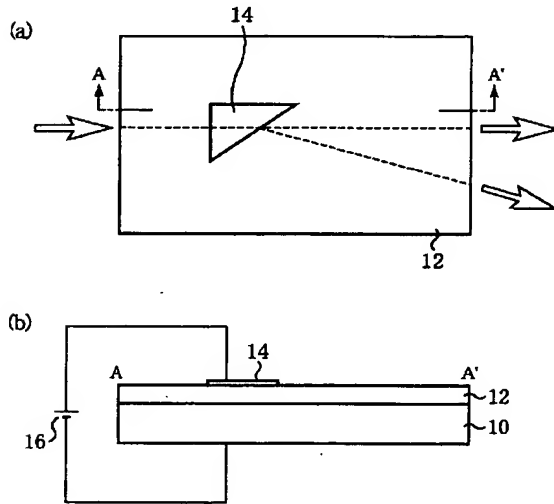
【図6】本発明の第3実施形態による光スイッチの構造を示す平面図である。

【符号の説明】

10…基板
12…スラブ導波路
14…電極
16…電源
18…ITO膜
20…基板
22…スラブ導波路
24…レンズ
26…入力側導波路
28…出力側導波路
30…電極
32…電源
34…石英膜
36…PMZTS膜
40…電極ベア

【図1】

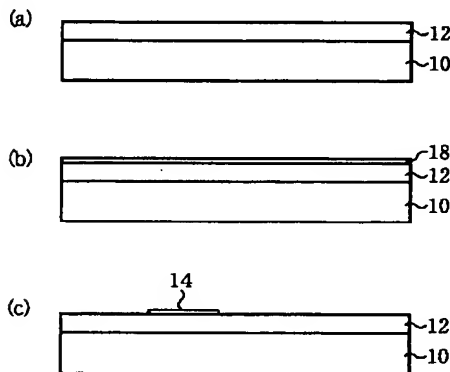
本発明の第1実施形態による光偏向素子の構造を示す
平面図及び概略断面図



10…基板
12…スラブ導波路
14…電極
16…電源

【図3】

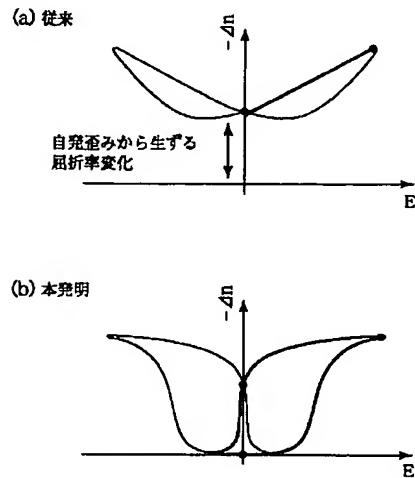
本発明の第1実施形態による光偏向素子の製造方法を示す
工程断面図



10…基板
12…スラブ導波路
14…電極
16…電源
18…ITO膜

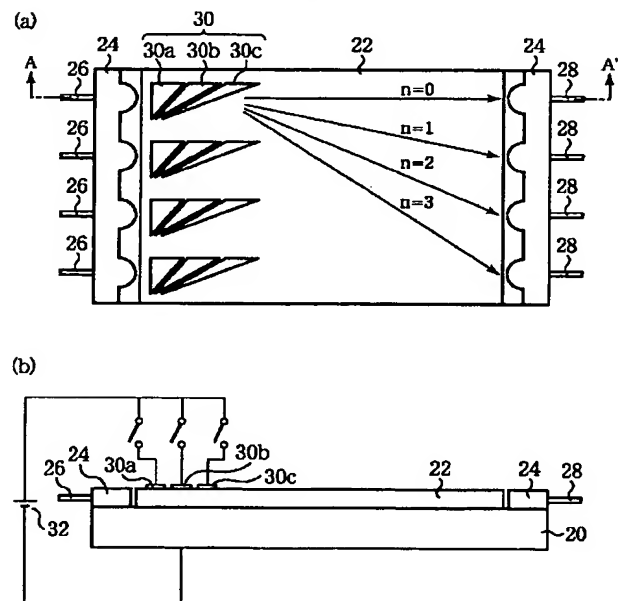
【図2】

本発明の第1実施形態による光偏向素子及び
従来の光偏向素子における屈折率変化特性を示すグラフ



【図4】

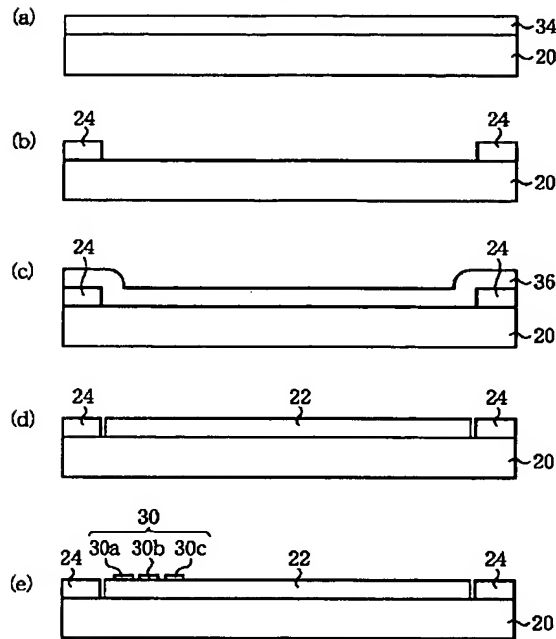
本発明の第2実施形態による光スイッチの構造を示す平面図
及び概略断面図



20…基板
22…スラブ導波路
24…レンズ
26…入力側導波路
28…出力側導波路
30, 30a, 30b, 30c…電極
32…電源

【図5】

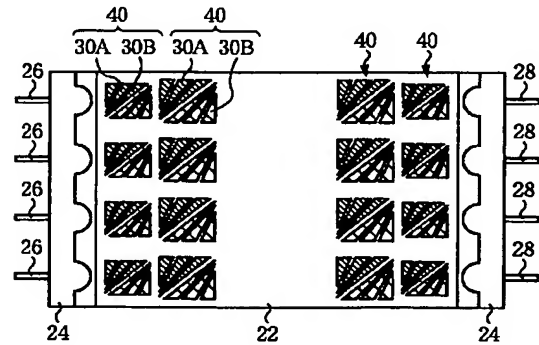
本発明の第2実施形態による光スイッチの製造方法を示す
工程断面図



20…基板
22…スラブ導波路
24…レンズ
26…入力側導波路
28…出力側導波路
30, 30a, 30b, 30c…電極
32…電源
34…石英膜
36…PMZTS膜

【図6】

本発明の第3実施形態による光スイッチの構造を示す平面図



20…基板
22…スラブ導波路
24…レンズ
26…入力側導波路
28…出力側導波路
30A, 30B…電極
40…電極ペア

フロントページの続き

(72)発明者 山岸 康男
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2K002 AB05 AB06 BA06 CA02 DA05
DA09 EA10 EB08 EB09 FA07
HA01 HA03